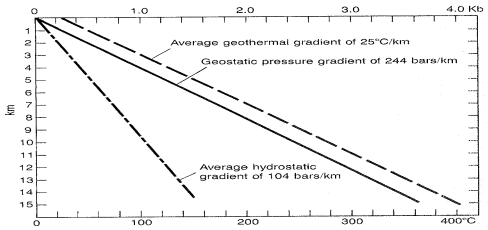
Tema 7.- Sedimentos y Rocas Sedimentarias: Diagénesis: Conceptos y nomenclaturas.- Procesos diagenéticos en el tiempo y en el espacio.- Compactación.- Procesos diagenéticos en sedimentos siliciclásticos .- Procesos diagenéticos en sedimentos carbonatados.

CONCEPTOS Y NOMENCLATURAS

El conjunto de procesos de carácter físico y químico que transforman los sedimentos en rocas sedimentarias, se denomina **"diagénesis"**. Se incluyen en éste concepto todos los cambios que tienen lugar en los sedimentos después de depositarse y que afectan tanto a las partículas minerales como al agua intersticial; los procesos que actuan (físicos, fisico-químicos, químicos, bioquímicos, etc) conducen a la **litificación** del sedimento a temperaturas y presiones, relativamente bajas.

Los **procesos diagenéticos** se inician en el momento en que los sedimentos se depositan y se acentúan durante el enterramiento por nuevos aportes sedimentarios. Las causas principales son el progresivo incremento de **presión** (carga litostática) y de **temperatura** (gradiente geotérmico). Los procesos diagenéticos tienen una gran importancia en Estratigrafía y Sedimentología, ya que enmascaran, cuando no eliminan casi por completo, la información genética del sedimento (procedencia, transporte y lugar de sedimentación) y dificultan su interpretación. La diagénesis no produce sólo "efectos negativos", en muchas ocasiones las transformaciones que tienen lugar cambian las propiedades de las rocas en "positivo", haciendo que tengan mayor valor económico (la disolución aumenta la porosidad primaria, la cementación cierra porosidad, dolomitizaciones, mineralizaciones, etc).



Las transformaciones que tienen lugar en la diagénesis son debidas a que las partículas del sedimento y el fluido intersticial encerrado en sus poros, tienden a mantenerse en equilibrio mediante reacciones controladas por la presión, la temperatura, el tiempo, el pH, Eh, concentración iónica, etc). La diagénesis es un proceso muy complejo que comprende desde el momento de la sedimentación hasta el comienzo de los procesos metamórficos, o hasta que las rocas vuelven a ser expuestas a la meteorización

STRAKHOV (1963-1970)

- **Sedimentogénesis**: Etapa en la que tiene lugar la formación del sedimento.
- **Diagénesis**: Transformación del sedimento en roca sedimentaria.
- **Catagénesis**: Etapa larga de cambios en la roca sedimentaria ya formada

*La escuela rusa utiliza el término diagénesis en un aspecto restringido (físico), comparada con la anglosajona que incluye todos los procesos que se realizan entre minerales y el fluido intersticial.

CHOQUETTE y PRAY (1980)

- **Estadio predeposicional.**
- **Estadio deposicional.**
- **Estadio postdeposicional (diagénesis s.l):**

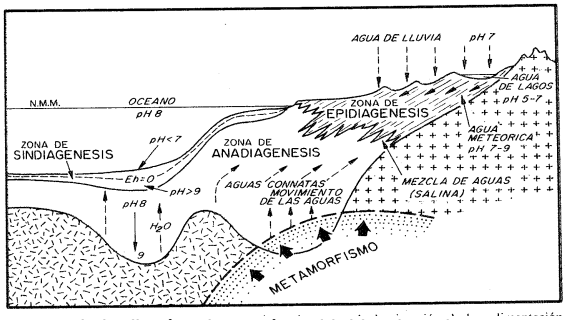
Fase eogenética (eodiagénesis): Desde el depósito hasta que el sedimento queda fuera de la interfase.

Fase mesogenética (mesodiagénesis): Desde la fase eogenética hasta el comienzo del metamorfismo o hasta que la roca asciende a niveles superficiales.

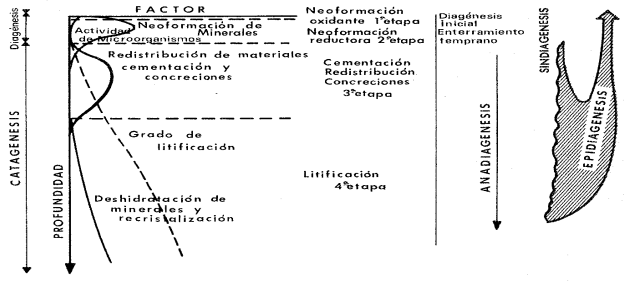
Fase telogenética (telodiagénesis): Desde el final de la mesogénesis hasta la meteorización.

Estadios diagenéticos de FAIRBRIDGE (1967)

- **Sindiagénesis:** Fase de sedimentación.Comienza en el momento que las partículas se sedimentan y se caracteriza por la presencia de aguas que son expulsadas muy lentamente. La subdivide en: a).Fase **inicial**: controlada por la química de las aguas suprayacentes.(zona **oxidante**, con materia orgánica) y b). Fase de **enterramiento temprano**: controlada por las aguas intersticiales que han sido moficadas químicamente por organismos (fundamentalmente bacterias), condiciones **reductoras**.
- **Anadiagénesis:** Fase de **compactación** y **maduración**. En ella los sedimentos se "litifican" con reducción progresiva de porosidad y expulsión de agua intersticial. Comienza al final de la sindiagénesis y llega hasta profundidades de 10.000 m.. Su duración va de 10 a 100 millones de años.
- **Epidiagénesis:** Fase emergente y postdiastrófica. Se produce por la reintroducción de aguas superficiales, con una oxidación muy intensa, junto con mineralizaciones autigénicas características. Estos procesos pueden llegar hasta 5.000 m. de profundidad y la duración de la exposición es muy larga, prácticamente ilimitada.



Fases de la diagénesis, según Fairbridge (1967).



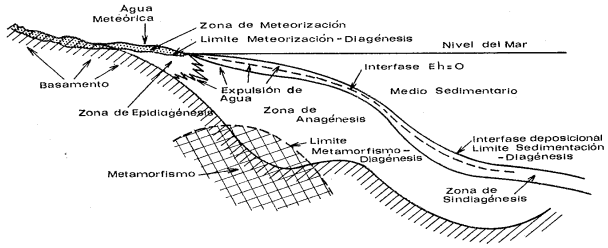
Procesos y fases diagenéticas. Basado en Strakhov (1960) y Fairbridge

J.A.Agueda-2004

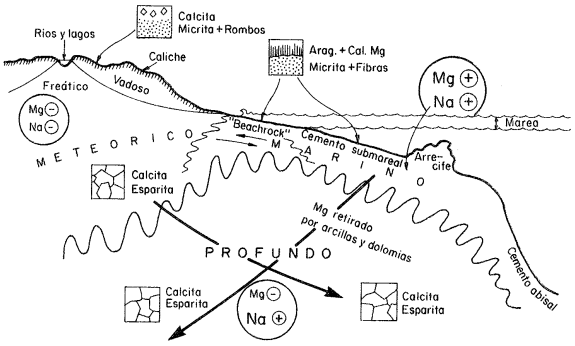
PROCESOS DIAGENÉTICOS EN EL TIEMPO Y EN EL ESPACIO

Los **procesos diagenéticos** engloban, con carácter general, todos los procesos que se realizan entre el depósito del sedimento y antes del comienzo del metamorfismo. Los lugares donde se realizan, y en paralelismo con los ambientes sedimentarios, se han denominado **ambientes diagenéticos**.

De momento, para zonar en **el tiempo** la diagénesis hay que admitir las ideas de los distintos autores, adelantadas en el apartado anterior.



Límites y zonas de la diagénesis según Fairbridge (1967) y Dunoyer de Segonzac (1969).



Relación entre ambientes diagenéticos y morfología de cementos carbonatados (Folk, 1974).

En los referente a **diagénesis en el espacio**, los diferentes **ambientes diagenéticos** que se pueden distinguir están relacionados con la hidroquímica de las aguas intersticiales y la forma de circulación de las mismas. Según el modelo de Folk (1974), generalizado para cualquier tipo de sedimento, se pueden considerar:

- Medio **continental** (aguas meteóricas) :
-
  - Vadoso
  - Freático
- Medio **marino** (agua marina) :
  - Vadoso (intermareal)
  - Freático (submareal)
- Medio **profundo.**

COMPACTACIÓN.

La **compactación** es: " la **pérdida progresiva de volumen del sedimento debida a una reducción de la porosidad, producida por la expulsión de agua que ocupaba los poros y por un reajuste del empaquetamiento de los granos".** No se debe confundir con la **"consolidación"** del sedimento, que es un concepto más amplio que engloba la transformación de un sedimento incoherente en roca sedimentaria, por endurecimiento, compactación y cementación.

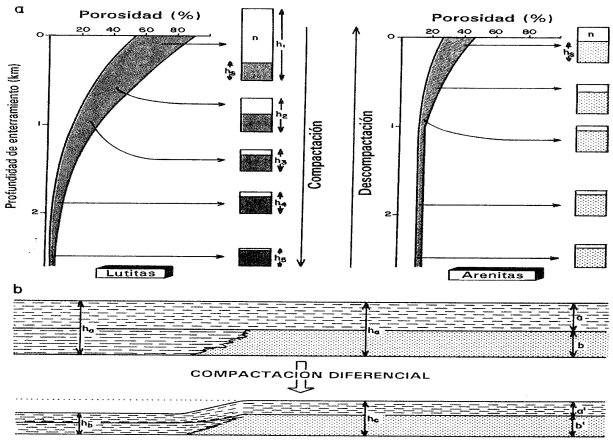
La **compactación** aparece simultánea o ligeramente posterior a la sedimentación; la reducción de porosidad y eliminación de fluidos representa disminución de volumen y por tanto **disminución del espesor de los estratos.** Su intensidad depende en gran parte de la **porosidad inicial**, que está relacionada con el **tamaño de grano** y contenido en **agua** pelicular. Un *fango arcilloso* con 90% de porosidad inicial se puede reducir a la décima parte de espesor, mientras que una *arena* con un 35% de porosidad inicial se reducirá sólo a los 2/3 de espesor.

Si comparamos dos sedimentos de muy diferente comportamiento, "lutitas" y "arenas" , observaremos que : las **lutitas** (porosidad inicial = 50%-90%), en una primera fase de compactación se reducen al 40%-45% debido a la expulsión de agua, luego comienza una reordenación de partícula, que desarrolla *"pizarrosidad"* y se llega a un pérdida total de porosidad (a unos 6 Km. de profundidad). La *"reducción de espesor"* puede llegar al 80%, así 1m. de lutitas puede pasar a ser 0,2 m. de pizarras.

Las **arenas** (porosidad inicial = 25%-45%) reducen ligeramente su porosidad a valores del 10%-25% y la consolidación final se alcanza más por efectos de la*"cementación"* que por la propia compactación.

En el caso de los **sedimentos carbonatados** los efectos de la compactación son más complejos, ya que durante los mismos se producen procesos de *"disolución"*, bajo presión, que enmascaran (formación de *"estilolitos"*) los resultados y complican su cuantificación.

Cuando se quiere interpretar la geometría de rocas sedimentarias antiguas, el problema principal es conocer los efectos de la **"compactación diferencial"** (figura siguiente- b).



Dado que los sedimentos reducen su volumen de forma desigual (según la litología y la textura), es frecuente que volúmenes de materiales originalmente semejantes pasen a tener diferente espesor después de la compactación, con la consiguiente **modificación de la geometría de los estratos**

La **"descompactación"** es la medida del valor del espesor original de las rocas sedimentarias. En todos los casos las rocas sedimentarias tienen un espesor inferior al del sedimento original, se han propuesto distintas fórmulas matemáticas para expresar la disminución de porosidad en función de la profundidad

J.A.Agueda-2004

PROCESOS DIAGENÉTICOS EN SEDIMENTOS SILICICLÁSTICOS.

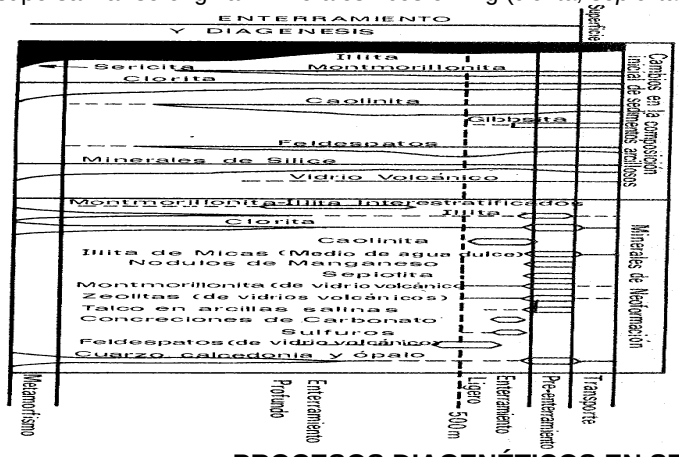
En la diagénesis de **gravas**, destacar que además de la influencia de la textura (tamaño, forma, clasificación), composición química y mineralógica, hay que atender a la presencia o ausencia de "*matriz"*. Por ello hay que establecer diferencias en las relaciones texturales, sobre todo de "*fábrica"* (empaquetamiento y orientación de patículas), con el diferente comportamiento mecánico de gravas, arenas, matriz, cementos, etc.



En **areniscas** es frecuente el proceso de **"disolución por presión"**, originado por la disolución de los granos en su punto de contacto, como respuesta a una presión, generalmente la litostática. El material así disuelto puede depositarse nuevamente en superficies donde se ejerce menor presión. La disolución por presión se ve favorecida por la presencia de arcilla y/o mica entre los granos de cuarzo; asimismo en areniscas con materia orgánica aparecen las suturas, típicas de la disolución por presión

La explicación, en el caso de las arcillas, es que aumenta la solubilidad de la sílice por liberación del K^+ (ilitas) y además la difusión de la sílice disuelta es favorecida por las películas arcillosas que rodean los granos de cuarzo.

La diagénesis en **sedimentos arcillosos** es muy compleja por las grandes variaciones mineralógicas, químicas y texturales que tienen las "arcillas". En la figura siguiente (Miller, 1967). se puede observar que : de los componentes iniciales (arcillas, cuarzo, feldespatos, carbonatos, sílice, etc.) el cuarzo y los minerales arcillosos son los más estables. La fuerte compactación que sufren las arcillas provoca la ascensión de agua intersticial salina, que provoca diferentes cambios químicos (adsorción, filtración, cambio de catión). Uno de los cambios más comunes es el paso de la *montmorillonita* a *ilita* y *clorita*, a veces con "*interestratificados"* intermedios, en medios marinos normales a medida que aumenta la profundidad de enterramiento. En medios salinos con agua intersticial "supersalina" se originan minerales ricos en Mg (*clorita, sepiolita, atapulgita*).



Otra característica de la diagénesis de arcillas es la aparición de nódulos y concreciones de manganeso, sulfuros y carbonatos En facies terrígenas la neoformación es distinta en las facies más proximales, que inicialmente son más ricas en *montmorillonita, illita degradada* y *caolinita*, como consecuencia de la mayor influencia del área madre (meteorización). En las facies más distales, netamente marinas, la neoformación es el orígen indiscutible de *illita* y *clorita.*

En etapas diagenéticas muy avanzadas, la proximidad del metamorfismo se anuncia por la esquistosidad, la cristalinidad de la *illita* y la aparición de *sericita, clorita* , etc.

PROCESOS DIAGENÉTICOS EN SEDIMENTOS CARBONATADOS

La diagénesis es muy compleja por la inestabilidad de los carbonatos. Entre los procesos diagenéticos destacan:

1.- Degradación biológica: Los carbonatos, se ven sometidos al "ataque" de diversos organismos. Esta acción tiene lugar con preferencia en las primeras fases de la diagénesis. La degradación puede transformar y destruir totalmente los componentes carbonatados, o bién crear vias de acceso de fluidos, que favorecen otros procesos diagenético. El "ataque biológico" puede realizarse por distintas acciones, según los organismos (excavadores, perforadores, raspadores y depredadores). La **micritización**, es uno de los procesos más característicos y consiste en el: **"***relleno de las perforaciones de un grano esquelético por micrita"* (boring&infilling). Es la perforación de la superficie de las partículas y la posterior precipitación de un cemento de tamaño "micrita" en los poros, dando lugar a una envuelta.

2.-Disolución: Los minerales carbonatados (aragonito, calcita magnesiana, etc.) son metaestables y en el curso de la diagénesis tienden a desaparecer, entre otros mecanismos, por **disolución.** La ecuación que rige la precipitación/disolución del CO_3Ca es : $\mathbf{CO_2 + H_2O + CO_3Ca = (CO_3H)_2\,Ca}$

La disolución de carbonatos depende de : la *composición del agua y de su flujo* (T^o, pH, P_{CO2}, $P_{hidrost.}$, salinidad), la *composición mineral* (orden decreciente de solubilidad: calcita muy magnesiana ->10% Mg- **>** aragonito **>** calcita magnesiana -<10% Mg- **>** calcita **>** dolomita) y de *otros factores* (porosidad, presencia de materia orgánica, etc). La disolución produce una porosidad secundaria o diagenética que hay que sumar a la primaria.

3.-Cementación: Se denomina **"cemento"** a la *formación de cristales en huecos preexistentes*, con la consiguiente reducción o pérdida total de la porosidad primaria. Los sedimentos carbonatados tienen una porosidad media del 50%, mientras que las rocas carbonatadas no superan el 10%; esto plantea el problema del orígen del cemento carbonatado, que hay que buscarlo en la disminución de grandes cantidades de carbonatos en las etapas diagenéticas más tempranas.

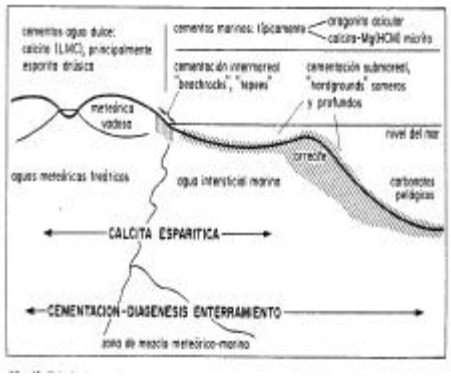
J.A.Agueda-2004

Según el tamaño y morfología de los cristales se diferencian varios **tipos de cementos**:

Micrítico: Cristales isométricos de tamaño inferior a 4 micras .Mineralógicamente puede estar formado por: calcita magnesiana (HMC), aragonito y dolomita. Su orígen se asimila a una cristalización muy rápida y múltiples centros de nucleación.

Fibroso: Tamaño variable. La calcita (LMC) y la dolomita son ráramente fibrosas, la calcita magnesiana (HMC) lo es frecuentemente y el aragonito casi siempre.Se forma con velocidades de cristalización no muy rápidas.

Esparítico: Cemento formado por cristales mayores de 30 micras, subequidimensionales a equidimensionales y morfología de euhedrales a anhedrales. Texturas "blocky", "drusy", "sintaxial". Mayoritariamente son de calcita (LMC) o de dolomita y se relacionan con velocidades de precipitación lentas.



4.-Sedimentación interna: Las aguas al circular por las rocas carbonatadas pueden arrastrar partículas de carbonato y depositarlas en el fondo de cavidades. Este proceso sirve de criterio **"geopetal"** y contribuye, junto con la cementación al relleno de la porosidad.

5.-Procesos neomórficos (recristalización s.l.) : El **"neomorfismo"** es un término (Folk,1965) que engloba todas las **transformaciones que se producen entre un mineral y el mismo (o un polimorfo), dando lugar a cristales nuevos de *distinto tamaño* (mayores o menores que el original) o de *distinta forma***. La conversión de cristales pequeños en grandes, puede producirse por crecimiento de algunos cristales grandes en una "pasta" y Folk lo denominó *"`porfiroide"* (p.e. reemplazamiento de una concha de aragonito por un mosaico de calcita) También puede suceder por aumento gradual de todos los cristales manteniendo un tamaño uniforme es el de tipo *"coalescente"* (p.e. el orígen de la mayoría de las microesparitas > 5 μ). El neomorfismo comprende dos procesos: *a).Inversión* o transformación polimórfica : La más importante, por ser la más frecuente en diagénesis de carbonatos es el paso de **aragonito a calcita**, que lleva consigo una **recristalización agradante** (fango-micrita, micrita-microesparita y de microesparita a pseudoesparita). *b).Recristalización* : Sin cambio mineral. Para describir texturas de "recristalización" (p.e. clasificación de Friedman, 1965) se utilizan los criterios de : forma de cristales (anhedral, subhedral, euhedral) y la "fábrica cristalina (equi- e inequigranular).

6.-Reemplazamiento: El "**reemplazamiento**" supone *un* ***cambio de mineralogía en el material preexistente*** y frecuentemente va acompañado de variación en la cristalinidad (*recristalización*). Aunque existen varios reemplazamientos en carbonatos (dolomitización, dedolomitización, silicificación, glauconitización, yesificación, ferruginización, etc), el más importante es la dolomitización.

La **dolomitización** es un proceso en el cual **el CO_3Ca de un sedimento o roca, mediante la reacción con soluciones ricas en Mg^+ , es reemplazado por una nueva especie mineral, la dolomita ($(CO_3)_2$ Ca Mg).** Este proceso ha sido objeto de la atención de gran número de científicos, no sólo por la importancia de las dolomias secundarias en el registro estrstigráfico, sino también por las connotaciones económicas que tiene la dolomitización con algunas mineralizaciones (Pb.-Zn) y el aumento de porosidad que se asocia a la dolomitización (investigaciones petrolíferas)._La **"dedolomitización"** consiste en el reemplazamiento de la dolomita por calcita y es un proceso inverso al anterior, que algunos autores prefieren denominar **"calcitización de la dolomita"**. Este proceso se desarrolla, casi exclusivamente, en condiciones superficiales continentales (etapas finales de la diagénesis, epidiagénesis o telogénesis)

7.-Compactación: presión-disolución:

En relación con la diagénesis profunda Bathurst (1981) considera que la compactación de los carbonatos puede ser : **"mecánica"** (aumento de la densidad de empaquetamiento) modifica muy poco a los sedimentos carbonatados, debido a su cementación precoz ; y **"química"** (presión-disolución), de mayor importancia ya que puede producir reducciones de espesor de un 30%. En éste últomo caso, el sedimento es deformado por la fuerza vertical de la "sobrecarga" y al mismo tiempo se produce una disolución del CO_3Ca, que pasará a las aguas intersticiales para su posterior precipitación como cemento en la diagénesis tardía. Las texturas resultantes del proceso, son :

a).-Superficies de contacto **grano a grano**, penetrando los menos solubles en los más solubles (suturas). Se desarrollan preferentemente en **"grainstones".** Después del relleno de poros por la última generación de cemento, la presión-disolución se manifestará por la formación de estilolitos.

b).-**Estilolitos**, son superficies de presión disolución, que sólo se diferencian de los contactos suturados entre granos en la escala, pues la génesis es análoga. Se dan fundamentalmente en **"mudstones"** y **"wackestones"**. En general la superficie del estilolito es una película del material insoluble.

c).-Las **películas de material insoluble**, son superficies de concentración de arcillas y otras impurezas, que quedan como residuo insoluble después del proceso de presión-disolución. Se dan en calizas "poco puras".

BIBLIOGRAFÍA :

- ARCHE, A. (Editor) (1989). **"Sedimentología: Nuevas Tendencias",** 2 vols**. *C.S.I.C.***
- BOGGS, S. (1995). **"Principles of Sedimentology and Stratigraphy",** 2ª edición, ***Prentice Halls, Inc.***
- CORRALES, I., ROSSELL, J., SANCHEZ DE LA TORRE, L., VERA, J. y VILAS, L.(1977). **"Estratigrafía", *Ed. Rueda***
- VERA TORRES, J. A. (1994). **"Estratigrafía".*Edit. Rue***da

J.A.Agueda-2004